

ACTITUDES EN LA APLICACION DE LA INFORMATICA AL CALCULO DE ESTRUCTURAS

Avelino Samartín Quiroga.- Dr. Ing. Caminos

Jesús Martínez Gonzalez .- Dr. Ing. Caminos

Manuel Moreno Herrera .- Perito de O.P.

1. Introduoción

Se clasifican los programas de cálculo de estructuras en una serie de tipos 1), 2), 3) y 4) que se definen en el apartado siguiente, y se comenta la relación del tipo de programa con la actitud del autor o usuario del mismo.

La clasificación no intenta ser completa, pero desea reflejar la experiencia obtenida por los autores durante su actuación profesional en este campo.

2. Actitudes de los autores

El autor de un programa puede realizarlo de acuerdo con - alguno de los siguientes tipos:

2.1. Cadena de programas

Análogamente a una producción industrial en serie, se confecciona un grupo de programas, que convenientemente ensamblados resuelven un conjunto de problemas estructurales especificados, a partir de datos poco elaborados hasta la obtención de resultados cercanos a la descripción del proyecto (armaduras, tablas de geometría, etc.),

en los planos de dibujo.

Las características de este tipo de programas son su entrada/salida cuidadosamente estudiada, la posibilidad de ampliación o sustitución de partes del programa, la adecuada fragmentación de programas que permitan la posibilidad anterior o la creación de nuevas cadenas de programas para otros casos diferentes.

Los autores de este artículo han realizado preferentemente programas de este tipo, entre los que merece destacarse:

- Estudio del puente de vigas pretensadas simplemente apoyadas.
- Puente continuo pretensado de sección variable.
- Pórtico recto continuo de varios vanos pretensado de - sección variable.
- Puente en voladizos sucesivos.
- Forjados sin vigas.

2.2. Programas generales de utilización muy amplia.

En general tiene como fundamento una teoría general de aplicación a multitud de situaciones de cálculo estructural. Los autores han desarrollado dentro de este tipo los siguientes programas:

- Estudio de vigas y losas unidas arbitrariamente (PUEN).
- Lámina plegada prismática.
- Losa ortotropa.
- Elementos finitos.
- Emparrillado plano con nudos de dimensión finita.

2.3. Programas realizados para la solución de casos específicos.

Usualmente este tipo de programas son poco útiles, una vez resuelto el problema para el que han sido escritos, a no ser que la habilidad del autor del programa los haya dispuesto en subrutinas generales de utilización posterior. En general, suele existir conflicto entre esta posibilidad y la economía del programa.

Ejemplos de programas desarrollados por los autores han -

sido:

- Análisis vibratorio de la cubierta del Estadio del Celti en Glasgow (Escocia).

- Lámina plegada no primática.

- Estudio geométrico de una solución del Puente de Cedillo

- Estudio geométrico de la cubierta del NOU CAMP del Barçolona F. C.

- Láminas de traslación.

- Estudio de tuberías de presión con y sin camisa de chapa armadas y pretensadas. Tabulación correspondiente.

2.4. Programas auxiliares

Por último un tipo de programas, de gran interés en opinión de los autores de este artículo, son aquellos que facilitan o mejoran la entrada y salida de programas generales.(tipo 2). Son programas de experiencia y programación sencilla pero de utilidad no suficientemente ponderada todavía. Ejemplos de este tipo de programas son:

- Generación de elementos finitos triangulares en contornos múltiplemente conexos.

- Generación de entrada de datos para estructuras compuestas de barras.

- Determinación de tensiones y armaduras en estructuras de barras.

En el apartado 5 se describen brevemente la entrada y salida, así como el proceso de algunos de los programas indicados en los párrafos anteriores: otros pueden verse en la bibliografía, que se indica al final del artículo.

3. Actitudes de los usuarios

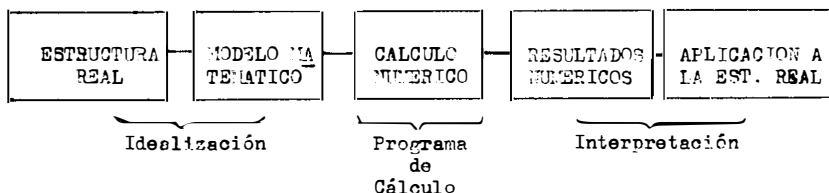
Se pueden considerar actitudes complementarias a las anteriores por parte de los usuarios.

En general, usuarios con amplios conocimientos de cálculo

de estructuras y de informática, desearán utilizar programas del tipo 2.1., que puedan modificar a su conveniencia con relativa facilidad, introduciendo las sucesivas puestas al día de las subrutinas - que consideren necesarias. También utilizarán programas tipo 2.2. - combinados con las posibilidades obtenidos de programas tipo 2.1.

En cambio, usuarios con escasos conocimientos de informática y con una actuación muy específica y concreta en el cálculo de estructuras estarán más inclinados en general al uso de programas - específicos tipo 2.3., que a veces pueden resultar más económicos en su proceso que otros tipos de programas.

Por último, si los usuarios carecen de conocimientos básicos de cálculo de estructuras, parece evidente, que no deberían utilizar ningún programa de estructuras. En efecto el análisis de una estructura, puede ser dividido en las siguientes fases:



De este esquema, resulta que un programa de cálculo electrónico sólo es una parte, laboriosa, del trabajo general, no ya del proyecto estructural, incluso del análisis estructural. No se considera aquí la posibilidad de los modernos programas de diseño (optimización o "computer aided design"), por no ser todavía una facilidad normal en los proyectos usuales.

Así pues, los problemas de idealización (consideración del trabajo fundamental de una estructura, idealización de juntas, etc.), así como interpretación de resultados, son de una importancia excepcional, que no pueden ser resueltos sin un conocimiento básico del cálculo

lo de estructuras.

En general, se puede relacionar este tema con el apartado siguiente.

4. Responsabilidades

Existen tres niveles de responsabilidad que corresponde a otras tantas fuentes de error.

4.1. Funcionamiento programa

4.1.1. Errores inherentes al mismo, cuya importancia puede depender de los valores de los datos.

4.1.2. Errores debidos a que el caso procesado se escapa del campo de aplicación del programa (extrapolaciones del método).

4.2. Entrada de datos

4.2.1. Por parte del usuario.

4.2.2. Por parte del autor.

En este fin conviene recordar la conveniencia del listado de todos los datos de entrada por programa.

4.3. Propio ordenador

4.3.1. La existencia de programas de prueba de ordenador pueden reducir a un mínimo este tipo de errores.

4.4. Interpretación y Aplicación posterior de los resultados

Aunque el tema es complicado parece que la responsabilidad total del uso posterior del programa debe ser del usuario, que debe ver en el ordenador no una herramienta que hace todo "infalliblemente" y - sí una posibilidad de ayuda valiosa, pero con limitaciones ya que los programas y los ordenadores son limitados. La comprobación e interpretación sistemáticas de los resultados obtenidos en el ordenador es siempre necesaria.

Sin embargo, un autor de programas responsable debe ofrecer la máxima ayuda al usuario, en orden a que la responsabilidad del mismo no sea a ciegas.

Con este fin los programas deben ser clasificados en varios niveles.

NIVEL 0 Programa procesable y sus resultados no comprobados.

NIVEL 1 Programa procesable y resultado ya comprobado a un número limitado de casos utilizable con revisión de entrada salida por el autor o autores.

NIVEL 2 Programa nivel 1 con número ya importante de los casos comprobados. Utilización confiable pero restringida

NIVEL 3 Programa con un gran número de casos procesados. Existe información completa (organigramas, teoría explicativa, etc.). Utilización pública confiable.

NIVEL 4 Programa de gran utilización. Existe información total. Utilización pública. Esta etiqueta debe existir en todos los programas, variable con el tiempo (un caso mal procesado pasa a nivel inferior, etc.)

En cualquier caso la responsabilidad del autor del programa o Centro de Cálculo, consistiría en procesar un programa erróneo - sin coste adicional dentro de un determinado tiempo, después de la utilización del programa.

5. Ejemplos

A continuación se describe brevemente un programa de cada uno de los tipos anteriores.

Tipo 2.1. Puentes continuos rectos de sección variable (in situ)

Este programa está formado por los siguientes subprogramas que pueden ser utilizados en parte o en su totalidad.

1. Características mecánicas

Calcula:

- Valores de las áreas, inercias, posición del centro de gravedad, v/I , v'/I , dimensiones del núcleo central y rendimiento mecánico de las secciones standard.

- Características mecánicas del cortante M_x/bI y b .
- Valores de cualquier dimensión variable de definición de la sección transversal.

Los tipos de sección transversal considerados han sido: - Simple y Doble T y cajón con uno a varios alveolos.

Se han considerado como secciones standard las que dividen cada vano en diez partes iguales.

2. Líneas de influencia I.

Calcula:

- Esfuerzos en apoyos producidos por cargas uniformes unitarias extendidas en todos y cada uno de los vanos.

- Esfuerzos en todas las secciones standard producidos por las cargas anteriores.

- Esfuerzos en apoyos y secciones standard producidos separadamente por el peso propio y el resto de carga permanente.

Los esfuerzos considerados han sido: Momento flector, esfuerzo cortante y reacción de apoyo en su caso.

3. Líneas de influencia II

Calcula:

- Líneas de influencia de esfuerzos en apoyos y secciones standard bajo la acción de una carga puntual vertical.

4. Esfuerzos máximos de sobrecarga

Calcula:

- Valores máximos y mínimos de un esfuerzo X y valor de un esfuerzo acompañante X_c , en una sección determinada bajo la acción de un tren de cargas indicando la posición.

Los esfuerzos considerados han sido:

Momento flector con esfuerzo cortante.

Esfuerzo cortante con momento flector.

Reacción de apoyo con momento flector.

5. Tensiones normales longitudinales debidas a las acciones exteriores .

- Las tensiones normales en las fibras superior e inferior de la viga en cada uno de los estados siguientes o combinación: peso propio, carga permanente, sobrecarga máxima y mínima.

6. Estudio del pretensado

Calcula: (en las secciones standard, para cada familia de cables y el conjunto de todas las familias).

- Geometría del cable: abscissas, ordenadas y tangentes.
- Tensiones en el acero de los cables, en las fases instantánea, inicial y final.
- Momentos hiperestáticos en los apoyos en las fases inicial y final, debidos al pretensado.
- Momentos flectores efectivos, tensiones longitudinales, esfuerzos cortantes en las fases inicial y final.

7. Tensiones normales longitudinales resultantes.

Calcula:

- Igual que en 2.1.5.- incluyendo los estados de pretensado inicial y final.

8. Verificación a cortante.

Calcula de acuerdo con la norma A.S.P. 65 en los estados y secciones standard:

- Tensiones cortantes de construcción y servicio.
- Tensiones cortantes máximas admisibles.
- Armadura necesaria.

Tipo 2.2. Láminas plegadas prismáticas

Calcula este programa los esfuerzos y desplazamientos en láminas plegadas de sección transversal arbitraria, bajo la acción de cualquier tipo de carga y condiciones de borde longitudinal homogéneas

es decir, (apoyo/apoyo: apoyo/empotramiento; empotramiento/empotramiento; libre/empotramiento y libre/apoyo).

Con este programa se puede calcular cualquier lámina cilíndrica de directriz y espesores variables arbitrarios. También ciertos tipos de sección transversal de tableros de puentes pueden ser estudiados mediante este programa. Mas información puede verse en la referencia (1)

Tipo 2.3.

Un ejemplo interesante de este tipo de programas, (que en este caso concreto en la realidad ha pasado al tipo anterior) puede verse en la publicación (2).

Tipo 2.4. Generación de elementos finitos triangulares en contornos multiconexos.

Este programa produce como "output", las coordenadas X,Y, (eventualmente Z) de los nudos de una red triangular de elementos finitos, así como la topología de los triángulos (nudos pertenecientes a cada triángulo).

Este output está conectado con un programa general de elementos finitos, reduciendo así la entrada de datos, que suele ser muy importante en este tipo de problemas.

La estructura en este programa se descompone, en planta, en dominios arbitrarios, que se definen cada uno por los datos de entrada:

Borde 1 X1, Y1, X2, Y2, X3, Y3

Borde 2 X1, Y1, X2, Y2, X3, Y3

Y la malla de división en el dominio se define por una tarjeta con los datos siguientes:

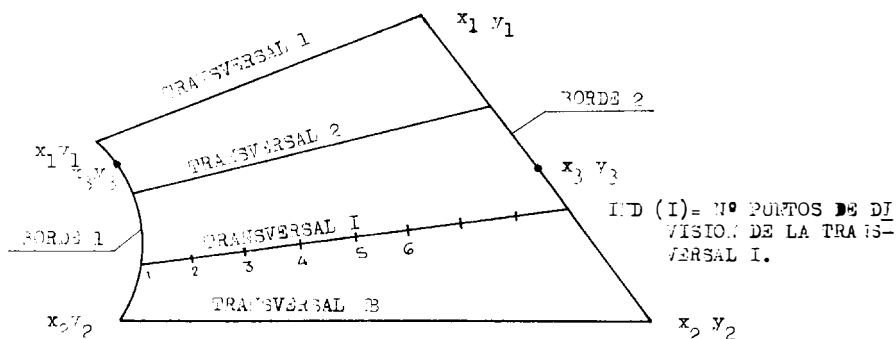
NB, N1, N2, NC, N(I), R1, R2, K

Y la división de cada transversal se introduce mediante una variable indicada (IND(I)).

La explicación de los signos anteriores es como sigue:

Definición del dominio

El contorno lo constituyen el conjunto de los bordes 1 y 2.



Contornos

$N1 = 1$	BORDE 1	RECTA	$N1 = 2$	BORDE 1	CIRCULO
$N2 = 1$	BORDE 2	RECTA	$N2 = 2$	BORDE 2	CIRCULO

En el caso de borde recta, no se dan las coordenadas x_3, y_3 .

Transversales

- $NB = N°$ de Transversales que dividen los dos bordes en partes iguales.

División de transversales

- $IND(I)$ es el $n°$ de puntos de división de la transversal I. Se han previsto 4 tipos de división de transversal.

TIPO 0: $N(I) = 0$	
TIPO 1: $N(I) = 1$	
TIPO 2: $N(I) = 2$	
TIPO 3: $N(I) = 3$	

Geometría de las transversales

Se prevén dos tipos (círculo y recta).

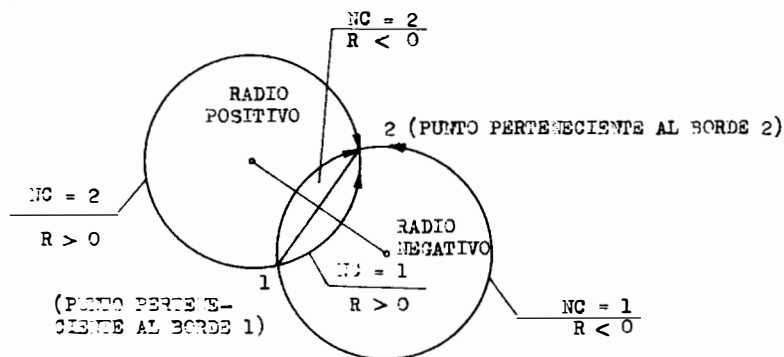
NC = 0 Indica que todas las transversales del dominio son rectas.

NC = 1 Indica que todas las transversales del dominio son círculos positivos (arco 1-2 en sentido antihorario)

NC = 2 Indica que todas las transversales del dominio son círculos negativos.

R1, R2 = Radio del círculo correspondiente a la transversal 1 y 2 respectivamente (pueden ser positivos o negativos).

Criterio de signos

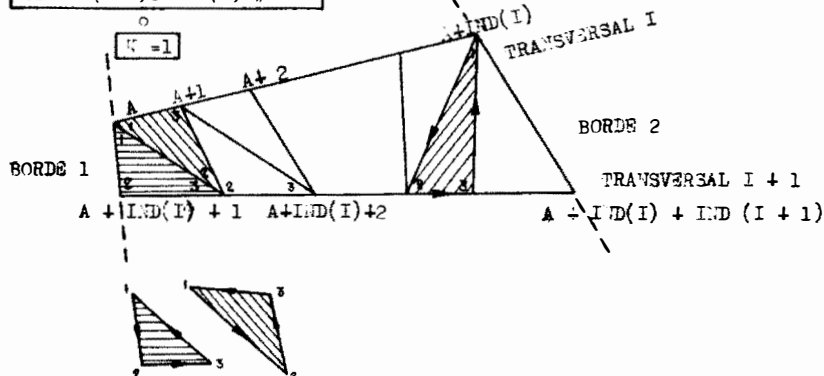


Los radios de las transversales intermedias se interpolan aritméticamente entre R1 y R2.

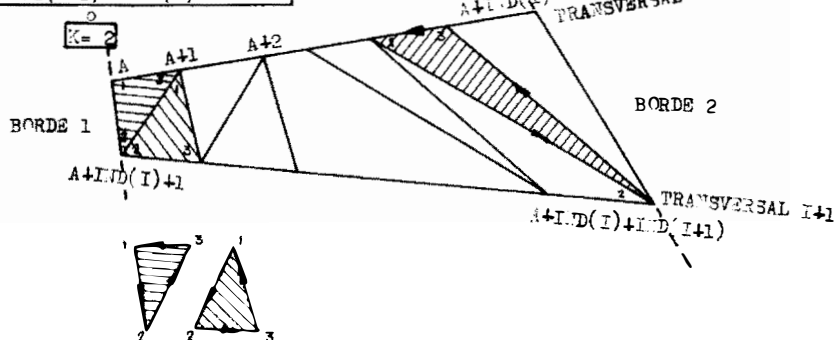
El ordenador numera todos los puntos, así definidos de forma consecutiva por transversales, del borde 1 al borde 2 y por orden creciente de transversales.

La formación de triángulos sigue el siguiente esquema:

SI $IND(I+1) \geq IND(I)$ Y $K=0$



SI $IND(I+1) < IND(I)$ Y $K=0$



Este proceso de numeración se realiza para cada dominio con
secutivamente.

Una vez definidos todos los dominios en los que se ha des -
compuesto la estructura, se realiza el acoplamiento de fronteras median
te fichas del tipo

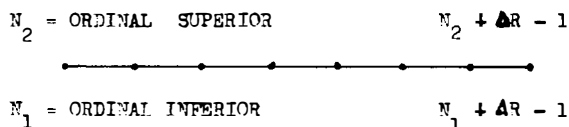
$N1, N2, AR$

La definición de estas variables es como sigue:

Acoplamiento de fronteras

Frontera es el conjunto de puntos con dos numeraciones distintas, obtenida mediante el proceso anterior. evidentemente estos puntos frontera pertenecen simultaneamente a dos o más dominios.

Ejemplo,



R es el número de puntos comunes con numeración consecutiva en dicha frontera.

N1 es el primer ordinal de la numeración inferior de la frontera.

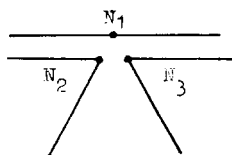
N2 es el primer ordinal de la numeración superior de la frontera.

Condiciones.-

Número de fronteras ≤ 20

Las fichas de acoplamiento de fronteras deben darse, en forma ordena da creciente según N2.

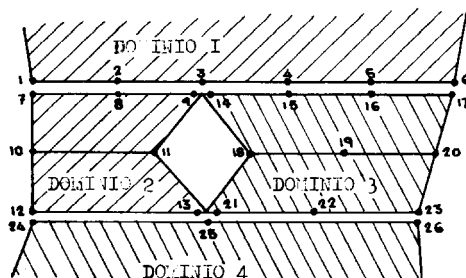
Puntos frontera múltiple



Si $N1 = \min (N1, N2, N3)$

Se acoplarán referidos a la numeración que contenga el número N1.

Ejemplo



Acoplamientos:

1ª ficha	1	7	3
3ª ficha	3	14	4
4ª ficha	12	24	2
2ª ficha	21	13	1 *
5ª ficha	23	26	1

* La ficha 2ª no será 21 25 2, ya que 21 no es el min. (13, 21, 25).

Recordar $N1 \rightarrow N2$ ΔR es una aplicación es decir el dominio $N2$ debe ser completo y corresponderle unívocamente un $N1$.

Este programa existe como una entrada independiente reducida dentro de un programa general de elementos finitos, que presenta la posibilidad de sacar por "plotter" la malla de elementos. Esta posibilidad es muy interesante pues permite comprobar errores de entrada de datos, que son frecuentes en estos problemas, principalmente si se define cada elemento finito directamente.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Samartín A.; Martínez J.; "A survey on folded plate structures" .- IASS Colloquium .- Madrid Oct. 1.969.-
- 2.- Samartín A.; Martínez J. .- Revista de Obras Públicas .- Agosto - 1.972 Madrid. "Determinación de los efectos dinámicos en una estructura de cubierta".

- 3.- Samartín, A. .- La aplicación de los métodos matriciales al cálculo de puentes".- Publicación n° 197 .- Laboratorio Central de Ensayo de Materiales de Construcción.
- 4.- Samartín, A. y Munro, J. .- Cubiertas laminares de traslación.- Revista Obras Públicas .- Septiembre 1.968.